

**PENGARUH PENEMPATAN *BAFFLE BLOCKS* TIPE CEKUNG
SETENGAH LINGKARAN DAN PARABOLIK PADA BENDUNG
DENGAN KOLAM OLAK TIPE *SOLID ROLLER BUCKET*
TERHADAP PANJANG LONCAT AIR DAN KEHILANGAN ENERGI**

Naskah Publikasi

**untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 Teknik Sipil**



diajukan oleh :

DWI SETYO NURRIZAL

NIM : D100110053

NIRM : 11.6.106.03010.50053

kepada

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2015

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENEMPATAN *BAFFLE BLOCKS* TIPE CEKUNG SETENGAH LINGKARAN DAN PARABOLIK PADA BENDUNG DENGAN KOLAM OLAK TIPE *SOLID ROLLER BUCKET* TERHADAP PANJANG LONCAT AIR DAN KEHILANGAN ENERGI

Naskah Publikasi

diajukan dan dipertahankan pada Ujian Pendadaran
Tugas Akhir dihadapan Dewan Penguji
pada tanggal 28 Februari 2015

diajukan oleh :

DWI SETYO NURRIZAL
NIM : D100110053
NIRM : 11.6.106.03010.50053

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama



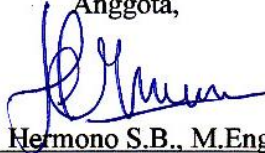
Jaji Abdurrosyid, S.T., M.T.
NIK. 691

Pembimbing Pendamping



Gurawan Djati W., S.T., M.Eng.
NIK. 782

Anggota,



Ir. Hermono S.B., M.Eng.
NIP : 110 032 522

Tugas Akhir ini diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk mencapai derajat Sarjana S-1 Teknik Sipil
Surakarta, 11 Maret 2015

Dekan Fakultas Teknik,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.
NIK. 682

Ketua Progdi Teknik Sipil



Mochamad Solikin, S.T., M.T., Ph.D.
NIK. 792

PENGARUH PENEMPATAN *BAFFLE BLOCKS* TIPE CEKUNG SETENGAH LINGKARAN DAN PARABOLIK PADA BENDUNG DENGAN KOLAM OLAK TIPE *SOLID ROLLER BUCKET* TERHADAP PANJANG LONCAT AIR DAN KEHILANGAN ENERGI

Jaji Abdurrosyid¹⁾, Gurawan Djati Wibowo²⁾ dan Dwi Setyo Nurrisal³⁾

^{1),2)} Staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan Surakarta 57102. Email jarrosyid@yahoo.com

jatiwibowolimo@yahoo.co.id

³⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan Surakarta 57102. Email dwisetyonurrisal@gmail.com

ABSTRAKSI

Beberapa rekayasa yang dilakukan manusia untuk memenuhi kebutuhan air adalah dengan teknologi penyimpan air (dengan dibangunnya bendungan dan embung), sedangkan untuk dapat mengalirkan dari sungai ke sawah dapat dilakukan dengan pembangunan bendung dan saluran irigasi. Peninggian muka air karena bendung akan mengakibatkan adanya aliran yang deras di bagian hilir bendung. Jika dalam suatu aliran terjadi perubahan jenis aliran dari superkritis ke subkritis, maka akan terjadi loncatan air (*hydraulic jump*). Untuk mereduksi energi yang terdapat di dalam aliran tersebut, maka pada kolam olak bendung biasanya dipasang *baffle blocks*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penempatan *baffle blocks* tipe cekung setengah lingkaran dan parabolik terhadap panjang loncat air dan kehilangan energi.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMS. Penelitian ini menggunakan *open flume* berukuran 30x60x1000 cm dengan kemiringan dasar saluran 0,005. Menggunakan pelimpah *ogee* dengan kemiringan tubuh bendung 0,6:1, dan menggunakan kolam olak tipe *solid roller bucket* dengan *baffle blocks* tipe cekung setengah lingkaran dan parabolik ukuran 5/12 R. Penelitian dilakukan dengan 11 seri, masing-masing seri dilakukan empat tahap *running* dengan empat macam variasi debit, sehingga total *running* yang dilakukan sebanyak 44 *running*. Pada setiap debitnya kemudian dilakukan pengujian panjang loncat air dan kehilangan energi.

Hasil penelitian menunjukkan beberapa kesimpulan, pertama, susunan *baffle blocks* yang paling baik untuk meredam energi aliran adalah *baffle blocks* tipe cekung parabolik dengan posisi pada awal radius lengkung kolam olak, berlaku untuk semua nilai debit (seri P2.Q). Kedua, posisi *baffle blocks* yang paling efektif untuk mereduksi panjang loncat air adalah *baffle blocks* tipe cekung parabolik dengan posisi di antara awal dan tengah lengkung kolam olak, berlaku untuk semua nilai debit (seri P3.Q). Ketiga, Unjuk kerja dari bentuk dan posisi *baffle blocks* yang paling efektif untuk meredam energi aliran dan mereduksi panjang loncat air adalah *baffle blocks* tipe cekung parabolik dengan posisi di antara awal dan tengah lengkung kolam olak, berlaku untuk semua nilai debit (seri P3.Q).

Kata kunci : pelimpah *ogee*, *solid roller bucket*, *baffle blocks* tipe cekung setengah lingkaran dan parabolik, panjang loncat air, kehilangan energi.

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu unsur utama dalam kelangsungan hidup manusia. Beberapa rekayasa yang dilakukan manusia untuk memenuhi kebutuhan air adalah dengan teknologi penyimpan air (dengan dibangunnya bendungan, embung, bendung dan saluran irigasi).

Peninggian muka air karena bendung akan mengakibatkan adanya aliran yang deras di bagian hilir bendung. Jika dalam suatu aliran terjadi perubahan jenis aliran dari superkritis ke subkritis, maka akan terjadi loncatan air

(*hydraulic jump*). Setelah terjadi loncatan air, kecepatan air akan melambat, akan tetapi kecepatan dan tegangan geser aliran setelah loncatan air masih dapat menggerus dasar saluran. Untuk mereduksi energi yang terdapat di dalam aliran tersebut, maka di kolam olak bendung biasanya dipasang *baffle blocks*. Salah satu jenis kolam olak yang biasa dipakai adalah tipe *solid roller bucket*.

Penelitian ini berusaha untuk mengetahui pengaruh kemiringan hilir bendung dan susunan penempatan *baffle blocks* tipe cekung setengah

lingkaran dan parabolik terhadap panjang loncat air dan kehilangan energi.

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan peredam energi pada kolam olakan diantaranya :

Agnes (1999) melakukan penelitian dan menyimpulkan bahwa pemasangan *baffle blocks* sangat mempengaruhi loncatan air dan juga tata letak *baffle blocks* yang berbeda akan menghasilkan panjang kolam olakan yang berbeda pula. Sedangkan pada model pelimpah yang tidak memakai *baffle blocks* loncatan yang dihasilkan lebih panjang dibanding model yang memakai *baffle blocks*.

Tauvan (2009) melakukan penelitian tentang efektivitas *baffle blocks* pada kolam olak *type solid bucket*. Hasil penelitian ini adalah *baffle blocks* dengan dimensi 2,5 cm dan peletakan pada kolam olak dua baris tegak lurus bersilangan yang paling efektif meredam energi.

Pembra (2013) melakukan penelitian pengaruh variasi kemiringan tubuh hilir bendung dan penempatan *baffle blocks* pada kolam olak tipe *solid roller bucket* terhadap loncatan hidrolis dan peredaman energi. Dari hasil penelitian didapat *baffle blocks* yang diletakkan pada tengah radius lengkung adalah yang paling efektif dalam meredam turbulensi aliran di hilir pusran.

LANDASAN TEORI

Pelimpah sebagai salah satu komponen dari saluran pengatur aliran, dibuat untuk meninggikan muka air. Akibat dari peninggian muka air tersebut terjadi perubahan aliran yang cepat dan energi yang sangat besar yang menyebabkan penggerusan saluran di bawah pelimpah (Mays, 1999; Triatmodjo, 1995; Ranga Raju, 1986). Sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi gerusan tersebut dibuat suatu bangunan peredam energi atau yang lebih dikenal dengan kolam olakan (*stilling basin*). Sering kali kolam olak dilengkapi dengan adanya *baffle*

blocks atau blok-blok halang untuk menambah efektifitas redaman energi (Peterka, 1974).

A. Tipe Aliran Pada Bendung

Aliran air pada saluran dapat berupa aliran saluran terbuka dan aliran tertutup. Aliran pada saluran terbuka mempunyai muka air yang bebas dimana tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer. Aliran tertutup biasanya mempunyai penghantar berbentuk pipa, dengan tekanan aliran lebih besar dibandingkan dengan tekanan atmosfer, sehingga aliran pipa biasanya juga disebut dengan aliran bertekanan.

B. Bilangan Reynolds

Pengaruh kekentalan dengan kelembaman (inersia) pada suatu aliran menghasilkan sifat laminar, turbulen atau peralihan. Suatu aliran disebut laminar apabila gaya kekentalan relatif lebih besar dibandingkan gaya kelembaman sehingga aliran dipengaruhi oleh kekentalan. Aliran disebut turbulen apabila gaya-gaya kelembaman relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya kekentalan sehingga aliran dipengaruhi oleh kelembaman. Adapun aliran bersifat peralihan (transisi) dimana terletak diantara aliran laminar dan turbulen.

$$Re = \frac{V.R}{\nu}$$

dengan

Re = Bilangan Reynolds

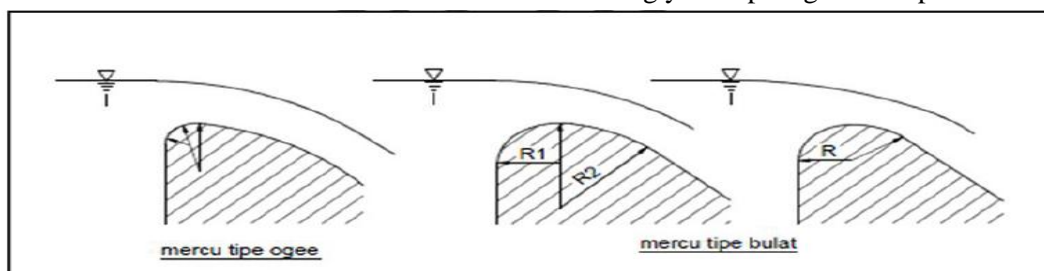
V = kecepatan (m/dt)

R = jari-jari hidrolis (m)

ν = kekentalan kinematik (cm^2/dt)

C. Mercu Pelimpah

Bendung adalah suatu bangunan air yang dibangun melintang sungai sedemikian rupa agar permukaan air sungai disekitarnya naik sampai ketinggian tertentu, sehingga aliran sungai dapat dialirkan melalui pintu ke saluran-saluran pembagi kemudian ke lahan-lahan pertanian maupun tempat yang membutuhkan. Sedangkan mercu adalah bagian paling atas pelimpah, yang berinteraksi langsung dengan air yang melimpas. Sehingga bentuk mercu menentukan karakteristik aliran yang terjadi di hilir. Di Indonesia umumnya menggunakan dua tipe mercu pelimpah untuk bendung yaitu tipe Ogee dan tipe Bulat.

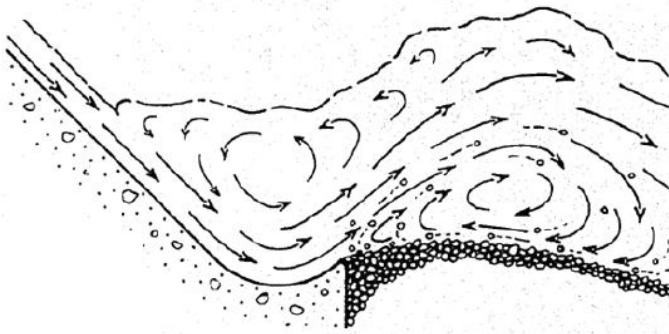


Gambar 1. Bentuk Mercu Tipe Ogee dan Tipe Bulat (KP-02)

D. Peredam Energi Tipe Roller Bucket

Peredam energi (*energy dissipator*) atau kolam olak (*stilling basin*) adalah sruktur dari bangunan di hilir tubuh bendung yang terdiri dari beberapa tipe dan bentuk, di kanan dan kirinya dibatasi oleh tembok pangkal bendung dilanjutkan dengan tembok sayap hilir dengan bentuk tertentu (Desain Hidrolik Bendung Tetap, 2002).

Fungsi dari bangunan ini adalah untuk meredam energi air akibat loncatan air agar air di bagian hilir bendung tidak menimbulkan pergerusan setempat yang membahayakan stuktur



Gambar 2. Pusaran Air pada Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket (A. J. Pererka, 1974)

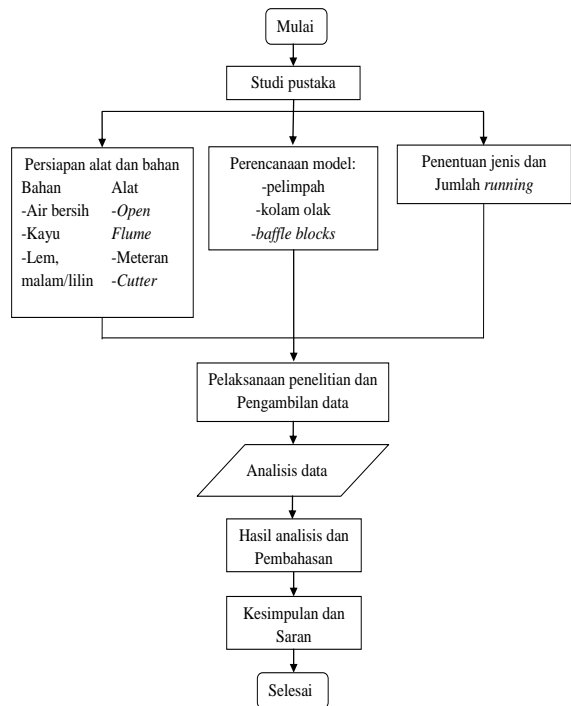
E. Loncat Air

Loncat air terjadi jika suatu aliran air mengalami suatu perubahan baik kecepatan atau kedalaman saluran basah ataupun perubahan kemiringan saluran. Pada kaki bendung, aliran akan mengalami perubahan dari aliran superkritis menjadi aliran subkritis. Loncat air merupakan salah satu contoh dari aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*). Ven Te chow, melakukan penggolongan jenis loncat air dengan bilangan *Froude* menjadi lima macam sebagai berikut ini :

1. Loncatan berombak ($1 < Fr < 1,7$), terjadi ombak pada permukaan air.
2. Loncatan lemah ($1,7 < Fr < 2,5$), terbentuk rangkaian gulungan ombak pada permukaan loncatan, tetapi permukaan air di hilir tetap halus.
3. Loncatan berosilasi ($2,5 < Fr < 4,5$), terdapat semburan berosilasi menyertai dasar loncatan bergerak ke permukaan dan kembali lagi tanpa periode tertentu. Setiap berosilasi menghasilkan gelombang tak tentu yang besar.

4. Loncatan tetap ($4,5 < Fr < 9$), ujung-ujung permukaan hilir akan bergulung dan titik di mana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliran.
5. Loncatan kuat ($Fr > 9$), dimana kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hempasan gelombang gulung dari permukaan loncatan, dan menimbulkan gelombang-gelombang hilir.

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3. Bagan Alur Penelitian

1. Perencanaan Model Pelimpah

Bangunan pelimpah direncanakan dengan debit (Q) yang maksimum agar mendapatkan variasi debit aliran yang beragam. Berikut ini perhitungan perencanaan bangunan pelimpah dengan data-data sebagai berikut :

- a) Debit maksimum (Q) = $0,005 \text{ m}^3/\text{dt}$
- b) Lebar saluran (b) = $0,3 \text{ m}$
- c) Tinggi pelimpah (p) = $0,2 \text{ m}$
- d) Dicoba h_d = $0,0385 \text{ m}$
- e) Kecepatan awal (V_0) =

$$V_0 = \frac{Q}{(p + h_d) \cdot b}$$

$$V_0 = \frac{0,005}{(0,2 + 0,0385) \cdot 0,3}$$

$$V_0 = 0,0699 \text{ m/dt}$$

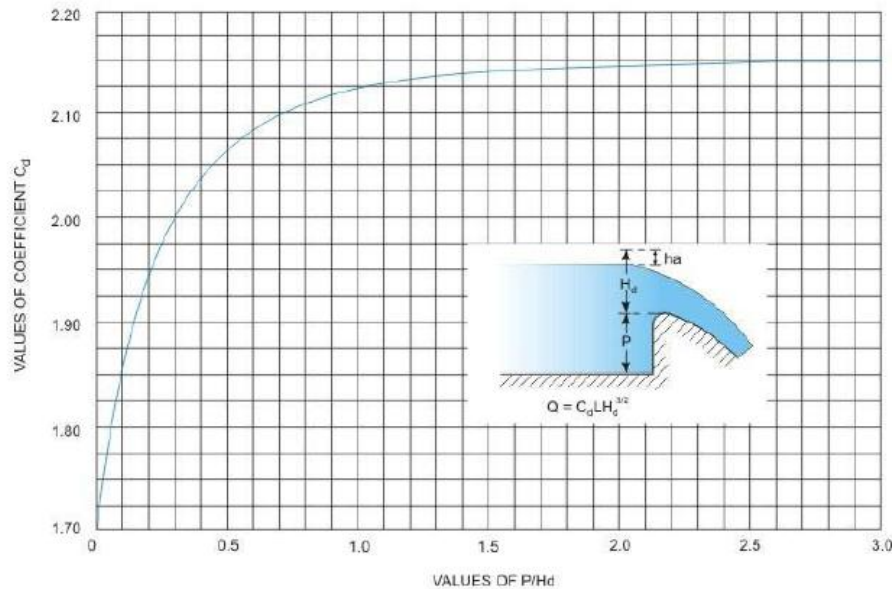
- f) Tinggi tek. total (h_e) =

$$h_e = h_d + \frac{V_0^2}{2g}$$

$$h_e = 0,0385 + \frac{0,0699^2}{2,9,81}$$

$$h_e = 0,0387 \text{ m}$$

g) Mencari koefisien C_d



Gambar 4. Grafik koefisien peluapan mercu ogee hubungan antara p/h_d (*Hydraulic Structures for Flow Diversion and Stroage, Version 2 CE IIT - Kharagpur*)

Dari grafik koefisien peluapan mercu ogee hubungan antara p/h_d dengan C_d di atas didapat $p/h_d = 5.16$ dan dari ekstrapolasi dengan persamaan $y = 0,016x + 2,102$ di dapat nilai $C_d = 2,19$ maka kontrol debit (Q) adalah :

$$Q = C_d \cdot b \cdot h_c^3$$

$$Q = 2,19 \cdot 0,3 \cdot 0,0387^3 = 0,005 \text{ m}^3/\text{dt}$$

2. Perencanaan Kolam Olak

a) Debit maksimum (Q) = $0,005 \text{ m}^3/\text{dt}$

b) Lebar saluran (b) = $0,3 \text{ m}$

c) Tinggi pelimpah (p) = $0,2 \text{ m}$

$$d) h_1 = \frac{Q}{b \cdot V_1} = \frac{0,005}{0,3 \cdot 2,074} = 0,00804 \text{ m}$$

$$e) V_1 = \sqrt{2g \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot hc + p\right)} = \sqrt{2,9,81 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,0385 + 0,2\right)} = 2,074 \text{ m/dt}$$

$$f) Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} = \frac{2,074}{\sqrt{9,81 \cdot 0,00804}} = 7,387$$

g) Radius minimum lengkung bucket ditentukan berdasarkan gambar III.5 dengan $Fr = 7,378$ diperoleh :

$$\bullet R_{\min}/\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) = 0,23$$

$$\bullet R_{\min} = 0,23 \cdot \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right)$$

$$\bullet R_{\min} = 0,23 \cdot \left(0,00804 + \frac{2,074^2}{2,9,81}\right)$$

$$\bullet R_{\min} = 0,0504 \text{ m} \text{ maka digunakan } R = 0,06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

h) Kedalaman muka air minimum di hilir ($h_{2\min}$) diperoleh dari $Fr = 7,387$ dan $R_{\min}/\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) = 0,23$ dalam gambar III.6.

$$\bullet \frac{h_{2\min}}{h_1} = 11 \text{ m}$$

$$\bullet h_{2\min} = 11 \times h_1 = 11 \times 0,00804$$

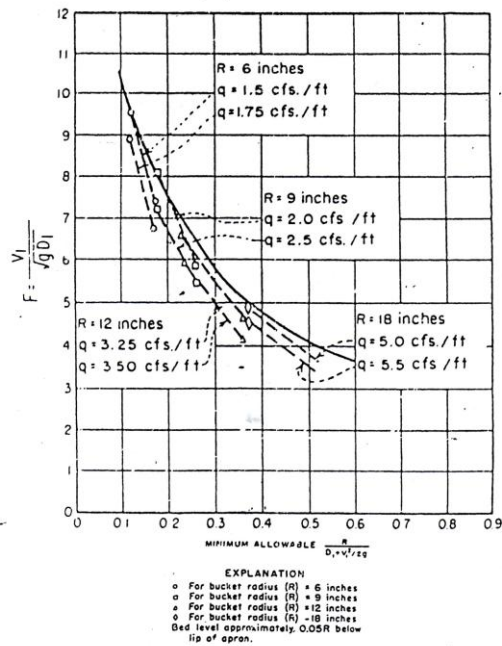
$$\bullet h_{2\min} = 0,0884 \text{ m}$$

i) Kedalaman air maksimum di hilir ($h_{2\max}$) diperoleh dari $Fr = 7,387$ dan $R_{\min}/\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) = 0,23$ dalam gambar III.7.

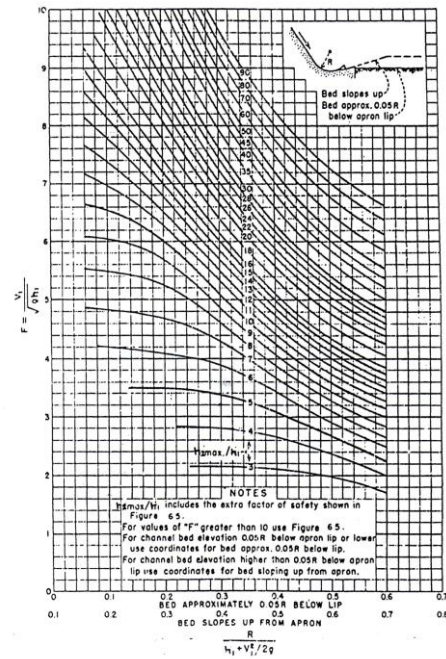
$$\bullet \frac{h_{2\max}}{h_1} = 16 \text{ m}$$

$$\bullet h_{2\max} = 16 \times h_1 = 16 \times 0,00804$$

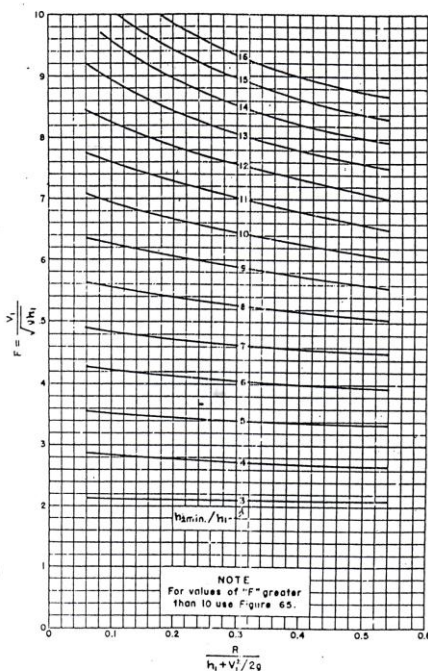
$$\bullet h_{2\max} = 0,1286 \text{ m}$$



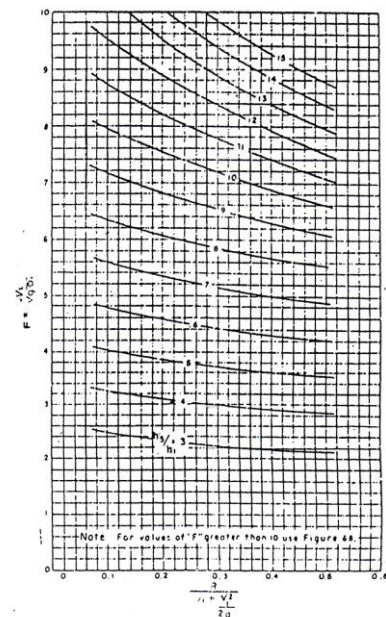
Gambar III.5 Radius Minimum Lengkung Bucket (A. J. Peterka, 1974)



Gambar III.7 Kedalaman Maksimum Air di Hilir Bucket (A. J. Peterka, 1974)



Gambar III.6 Kedalaman Minimum Air di Hilir Bucket (A. J. Peterka, 1974)

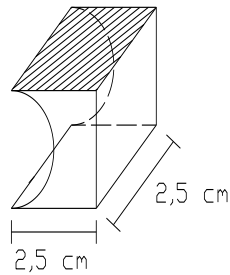


Gambar III.8 Kedalaman Minimum Air yang Dapat Menyebabkan Pusaran Terjadi di Luar Bucket (A. J. Peterka, 1974)

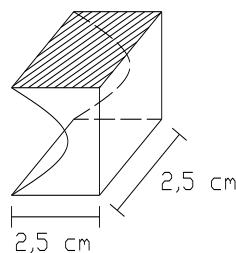
3. Perencanaan Baffle Blocks

Perencanaan dimensi *baffle blocks* didasarkan atas besarnya radius lengkung bucket (R). *Baffle Blocks* terbuat dari bahan kayu berbentuk persegi empat berdimensi 5/12 R (2,5 cm). Bentuk *baffle blocks* tipe cekung setengah

lingkaran dan cekung parabolik adalah berupa kotak kubus.



Gambar 9. Baffle Block Tipe Cekung Setengah Lingkaran



Gambar 10. Baffle Block Tipe Cekung Parabolik

Tabel 1. Running Penelitian

No running	Seri	Penempatan Baffle Blocks
1	A1.Q ₁	variasi 1
2	A1.Q ₂	variasi 1
3	A1.Q ₃	variasi 1
4	A1.Q ₄	variasi 1
5	C2.Q ₁	variasi 2
6	C2.Q ₂	variasi 2

Lanjutan Tabel 1. Running Penelitian

No running	Seri	Penempatan Baffle Blocks
7	C2.Q ₃	variasi 2
8	C2.Q ₄	variasi 2
9	P2.Q ₁	variasi 2
10	P2.Q ₂	variasi 2
11	P2.Q ₃	variasi 2
12	P2.Q ₄	variasi 2
13	C3.Q ₁	variasi 3
14	C3.Q ₂	variasi 3
15	C3.Q ₃	variasi 3
16	C3.Q ₄	variasi 3
17	P3.Q ₁	variasi 3
18	P3.Q ₂	variasi 3
19	P3.Q ₃	variasi 3
20	P3.Q ₄	variasi 3
21	C4.Q ₁	variasi 4
22	C4.Q ₂	variasi 4
23	C4.Q ₃	variasi 4
24	C4.Q ₄	variasi 4
25	P4.Q ₁	variasi 4
26	P4.Q ₂	variasi 4
27	P4.Q ₃	variasi 4
28	P4.Q ₄	variasi 4
29	C5.Q ₁	variasi 5
30	C5.Q ₂	variasi 5
31	C5.Q ₃	variasi 5
32	C5.Q ₄	variasi 5

Lanjutan Tabel 1. Running Penelitian

No running	Seri	Penempatan Baffle Blocks
33	P5.Q ₁	variasi 5
34	P5.Q ₂	variasi 5
35	P5.Q ₃	variasi 5
36	P5.Q ₄	variasi 5
37	C6.Q ₁	variasi 6
38	C6.Q ₂	variasi 6
39	C6.Q ₃	variasi 6
40	C6.Q ₄	variasi 6
41	P6.Q ₁	variasi 6
42	P6.Q ₂	variasi 6
43	P6.Q ₃	variasi 6
44	P6.Q ₄	variasi 6

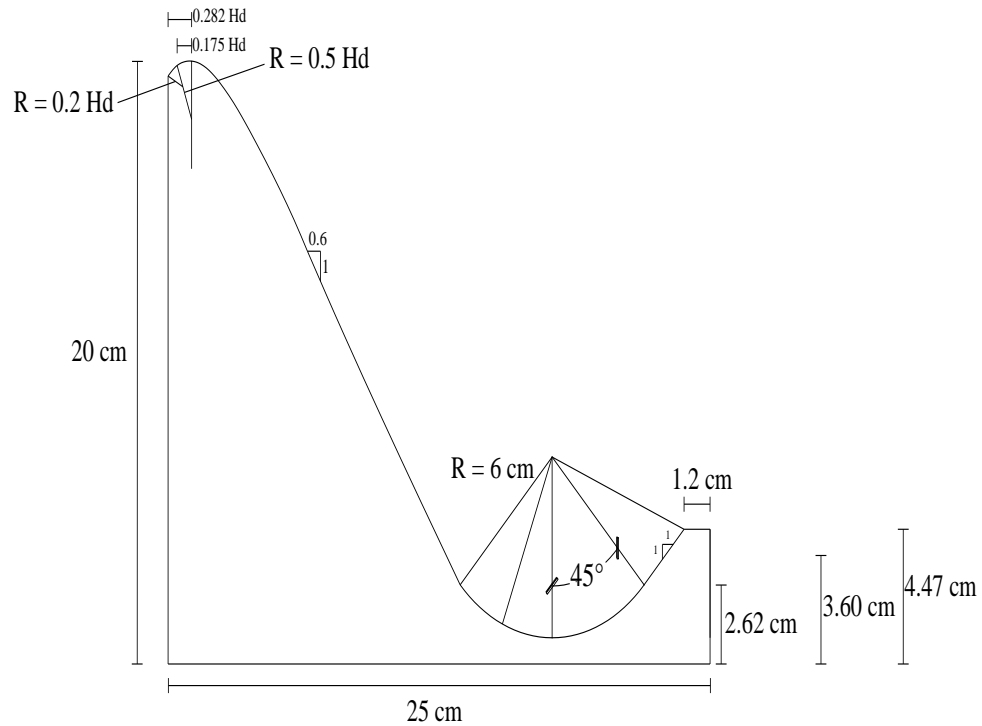
Keterangan tabel :

- Huruf (A, C dan P) : Tanpa Baffle blocks (A), dan Baffle blocks tipe cekung setengah lingkaran (C) dan cekung parabolik (P)
- Angka (1,2,3,4,5 dan 6) : Perlakuan penempatan baffle blocks.
 - Variasi 1 (tanpa baffle blocks)
 - Variasi 2 (di awal radius lengkung kolam olak)
 - Variasi 3 (diantara awal dan tengah radius lengkung kolam olak)
 - Variasi 4 (di tengah radius lengkung kolam olak)
 - Variasi 5 (diantara tengah dan akhir radius lengkung kolam olak)
 - Variasi 6 (di akhir radius lengkung kolam olak).

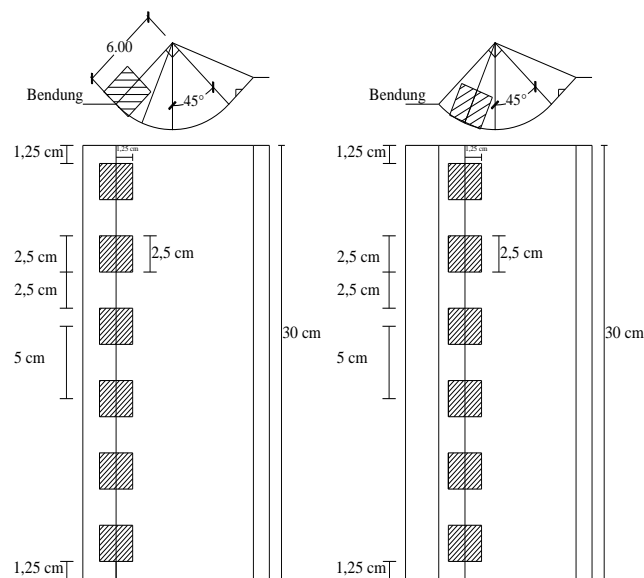
c) Q (debit aliran) : Debit dengan empat variasi

$Q_1 : 5000 \text{ cm}^3/\text{dt}$ $Q_3 : 4000 \text{ cm}^3/\text{dt}$
 $Q_2 : 4500 \text{ cm}^3/\text{dt}$ $Q_4 : 3500 \text{ cm}^3/\text{dt}$.

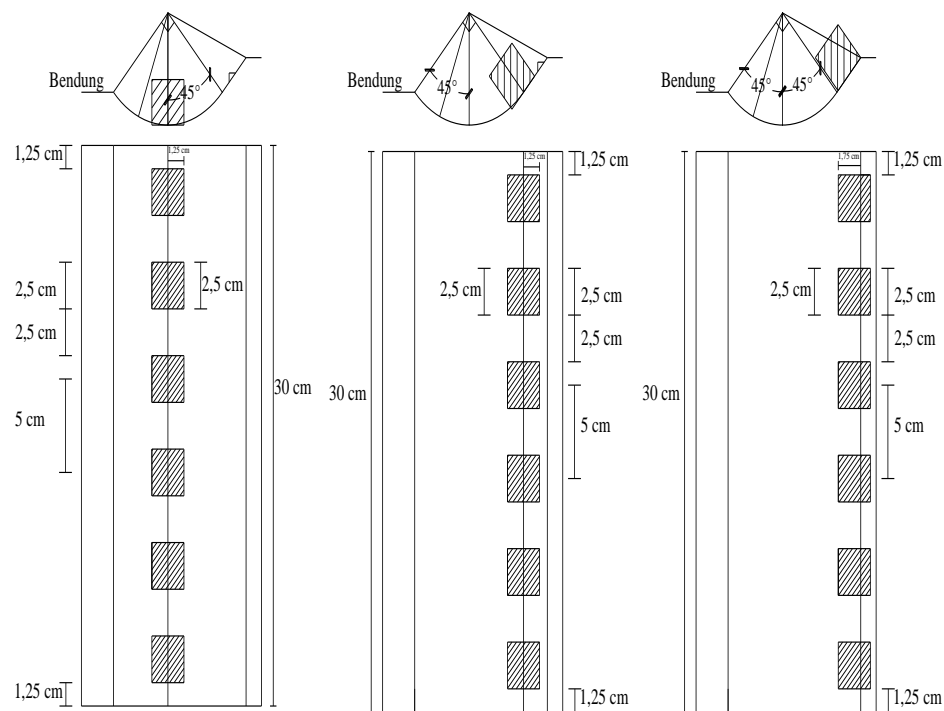
Gambar hasil perencanaan model



Gambar 11. Tampang Lintang Bendung Tipe *Ogee* dan Kolam Olak Tipe *Solid Roller Bucket*
Keterangan : Kemiringan tubuh bendung sama dengan design (Honing, 2009).



Gambar 12. Variasi susunan *baffle blocks* (Variasi 2 dan Variasi 3)



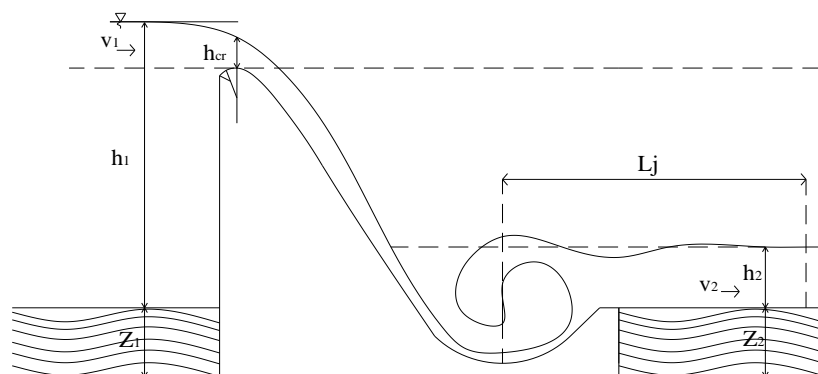
Gambar 13. Variasi susunan *baffle blocks* (Variasi 4, Variasi 5, dan Variasi 6)

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air pada *open flume* melewati pelimpah *ogee* dengan 4 variasi debit ($3500 \text{ cm}^3/\text{dt}$, $4000 \text{ cm}^3/\text{dt}$, $4500 \text{ cm}^3/\text{dt}$ dan $5000 \text{ cm}^3/\text{dt}$) menggunakan pompa air, dilakukan pada 44 kali running penelitian dengan kemiringan tubuh bendung sama 0,6:1. Hasil analisis meliputi :

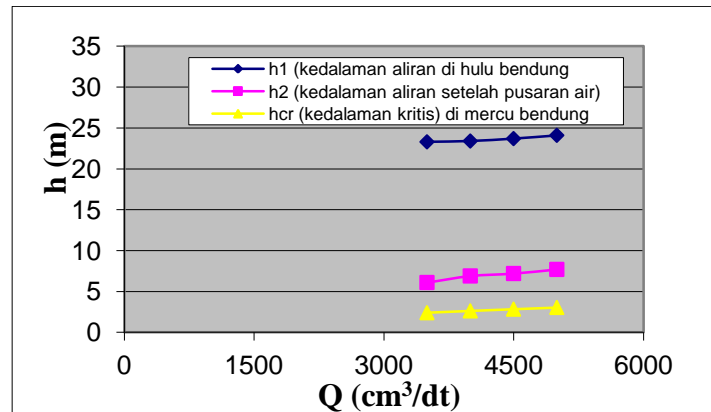
1. Analisis kecepatan aliran dengan variasi debit

Kecepatan aliran di hulu bendung dihitung sejauh ($3 \times$ tinggi bendung) yang selanjutnya disebut h_1 , h_{cr} adalah pengaliran di atas bendung (dengan persamaan pengaliran kritis), sedangkan h_2 adalah kedalaman air di hilir kolam olak setelah terjadi pusaran air. Penjelasan secara rinci lokasi pengamatan kedalaman aliran disajikan pada gambar berikut ini.



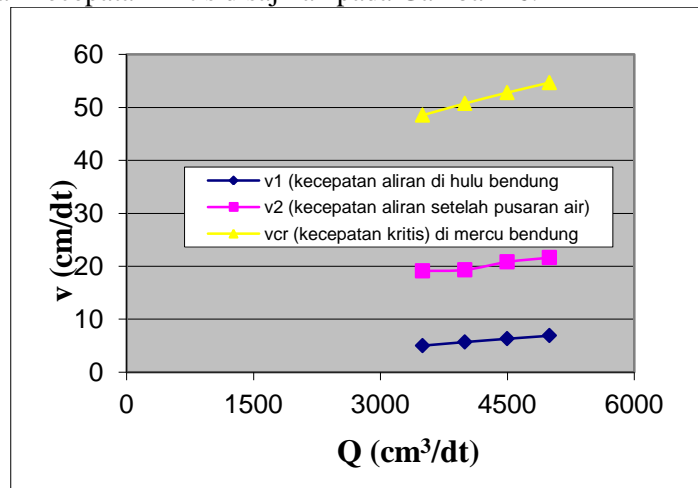
Gambar 14. Letak Kecepatan di Hulu Bendung (v_1), di Atas Bendung (v_{cr}) dan di Hilir Kolam Olak (v_2)

Kedalaman air di hulu bendung merupakan kedalaman yang paling besar, karena adanya efek pembendungan (seperti fungsi bendung yaitu untuk menaikkan muka air sungai/saluran), kedalaman aliran juga semakin naik ketika debit yang mengalir semakin naik. Kedalaman aliran h_2 adalah kedalaman air setelah terjadi pusaran air. Pada kondisi ini aliran air bersifat subkritik, setelah sebelumnya aliran air bersifat superkritik. Dari Gambar 15, terlihat bahwa kedalaman aliran setelah peristiwa pusaran air semakin meningkat ketika debit yang lewat juga naik. Kedalaman kritis didapatkan dengan memasukkan ke dalam persamaan kritis (di puncak mercu), yaitu kedalaman batas antara superkritik dan subkritik.



Gambar 15. Hubungan Antara Variasi Debit Q (cm³/dt) dengan Kedalaman Aliran h (m)

Tipikal kecepatan mirip dengan kedalaman aliran, kecepatan di hulu bendung merupakan kecepatan yang paling rendah, karena terjadi pembendungan disusul kecepatan setelah pusaran air dan kecepatan sebelum pusaran air merupakan kecepatan paling tinggi. Penurunan kecepatan terjadi pada kolam olak dengan adanya peristiwa pusaran air (loncat air), yang akan mengubah jenis aliran dari superkritik menjadi subkritik. Peristiwa pusaran air juga bersifat meredam energi aliran, sehingga energi setelah pusaran air relatif lebih rendah. Informasi kecepatan air di hulu bendung, kecepatan setelah pusaran air dan kecepatan kritis disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Hubungan Antara Variasi Debit Q (cm³/dt) dengan Kecepatan Aliran v (cm/dt)

Rincian detail kecepatan aliran dan kedalaman muka air di tubuh bendung dilakukan dengan menerapkan persamaan konservasi momentum yang dikalibrasikan dengan data pengukuran kedalaman di laboratorium. Sesuai dengan hukum Newton II, yang menyatakan bahwa "jumlah gaya yang bekerja di suatu volume kontrol sebanding dengan perubahan momentum yang terjadi", maka konservasi momentum dapat dituliskan berikut ini.

Persamaan konservasi momentum berikut ini :

$$F_1 - F_2 + W \cdot \sin \theta - \lambda \cdot A = \rho \cdot Q (v_2 \cos \theta_2 - v_1 \cos \theta_1)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot h_1^2 \cdot \gamma_w \cdot B \cdot \cos \theta_1$$

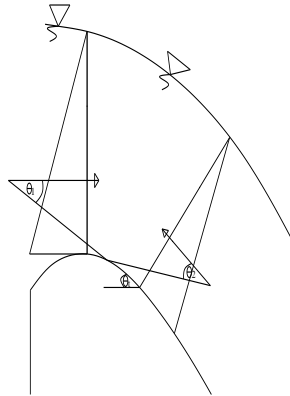
$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot h_2^2 \cdot \gamma_w \cdot B \cdot \cos \theta_2$$

$$W \cdot \sin \theta = \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \cdot L \cdot B \cdot \sin \theta$$

$$\lambda \cdot A = \rho \cdot g \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) \cdot I_o \cdot (B \cdot h)$$

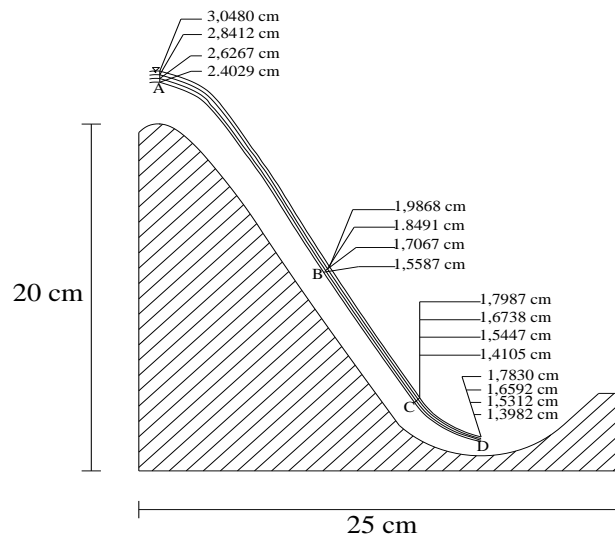
Persamaan tersebut di atas bersifat eksplisit dan acuan awal untuk memulai perhitungan ditentukan yaitu h_{kritik} (h_1). Selanjutnya cara perhitungan dilanjutkan sebagai berikut ini :

1. Menentukan koordinat dari kemiringan bendung.
2. Mencari tangen sudut dari masing-masing titik koordinat yang telah ditentukan.
3. Menentukan sudut awal (θ_1), sudut tengah (θ_i), dan sudut akhir (θ_2) dari setiap titik koordinat.
4. Menentukan panjang busur punggung bendung dengan analisa matematis dibagi menjadi 30 pias.
5. Menganalisa nilai fungsi dari rumusan momentum untuk mendapatkan tinggi aliran (h_2 trial) yang meluncur pada kemiringan bendung. Penentuan h_2 trial dengan fungsi goal seek di MS. Excel 2007.
6. Mengulangi langkah 1 s/d 5 dengan penggal saluran di punggung bendung selanjutnya.
7. Setelah h_2 trial didapat selanjutnya digambar aliran air yang melewati kemiringan tubuh bendung. Kemudian dianalisis mengenai konservasi momentumnya.



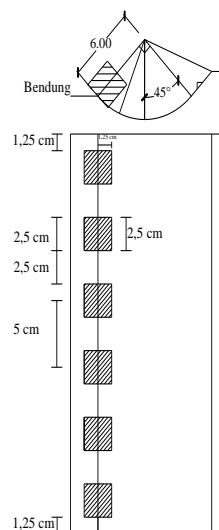
Gambar 17. Tekanan pada Puncak Mercu Bendung

Profil aliran melalui bendung hasil iterasi dari persamaan konservasi momentum digambarkan pada Gambar 18, Profil muka air yang paling atas ke bawah menggambarkan profil muka air yang melintasi bendung dengan debit 5000 cm³/dt dan berturut-turut profil muka air di bawahnya dengan debit 4500 cm³/dt, 4000 cm³/dt dan 3500 cm³/dt. Sedangkan kecepatan aliran saat melintasi bendung di titik A (puncak bendung), B (sebelum permulaan lengkungan), C (awal lengkungan kolam olak), D (puncak lembah kolam olak) disajikan pada Gambar V.18 berikut ini.



Gambar 18. Profil Muka Air yang Melintasi Tubuh Bendung dengan Data Kedalaman Aliran h (cm)

Dari profil kedalaman aliran dan profil kecepatan aliran melewati tubuh bendung di atas, analisis momentum aliran ketika menumbuk *baffle blocks* adalah sebagai berikut ini.



Gambar 19. Penempatan *Baffle Blocks* pada Kolam Olak

Jika debit ($5000 \text{ cm}^3/\text{dt}$) terbagi merata menjadi 12 bagian, maka momentum yang menumbuk di titik B, C, dan D (lihat Gambar 18)

$$\begin{aligned}
 M_B &= 1/12 \times \rho \times Q \times V \\
 &= 1/12 \times 1 \times 5000 \text{ cm}^3/\text{dt} \times 83.8887 \text{ cm/dt} \\
 &= 34953.63 \text{ dyne}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_C &= 1/12 \times \rho \times Q \times V \\
 &= 1/12 \times 1 \times 5000 \text{ cm}^3/\text{dt} \times 92.6619 \text{ cm/dt} \\
 &= 38609.13 \text{ dyne}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_D &= 1/12 \times \rho \times Q \times V \\
 &= 1/12 \times 1 \times 5000 \text{ cm}^3/\text{dt} \times 93.4761 \text{ cm/dt} \\
 &= 38948.38 \text{ dyne}
 \end{aligned}$$

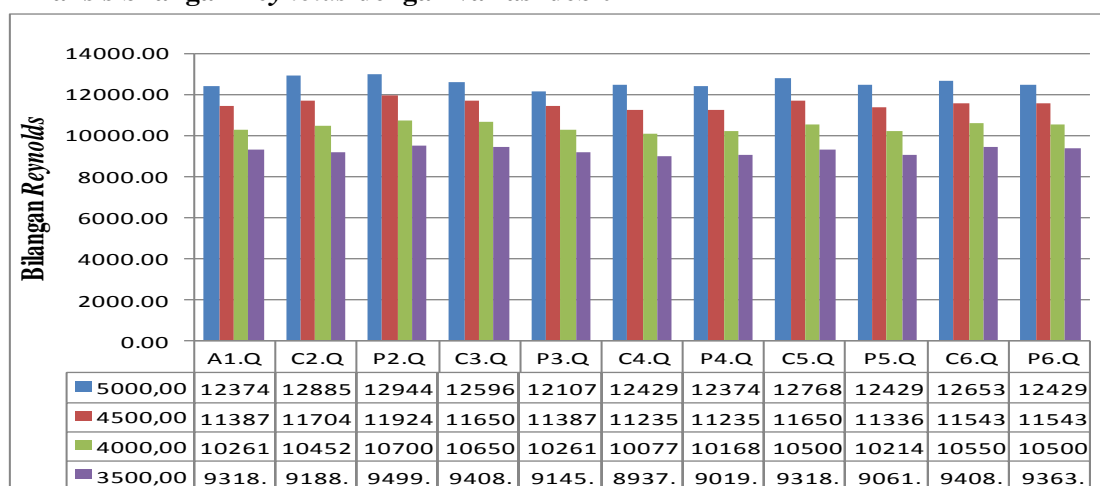
Dari analisis di atas didapatkan pemahaman bahwa momentum air yang menumbuk *baffle blocks* paling besar di titik D, disusul di titik C dan titik B. Jika momentum yang menumbuk pertama kali adalah sebesar di atas, belum tentu gaya yang ditahan oleh *baffle blocks* sama dengan momentum yang

menumbuknya, tergantung koefisien drag (CD) dari bentuk cekungan dari *baffle blocks* tersebut. Secara hidrodinamik besar gaya yang ditahan oleh *baffle blocks* adalah sebagai berikut ini.

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^2$$

Secara hidrodinamik, sebagai hipotesa awal koefisien drag dengan jenis $\frac{1}{2}$ lingkaran lebih besar dibanding koefisien drag bentuk lengkung parabolik. Dari hipotesa awal di atas, maka pemasangan *baffle blocks* yang efektif untuk meredam panjang loncat air dan meredam enegi aliran adalah jenis *baffle block* $\frac{1}{2}$ lingkaran yang di pasang di puncak lembah ruang kolam olak.

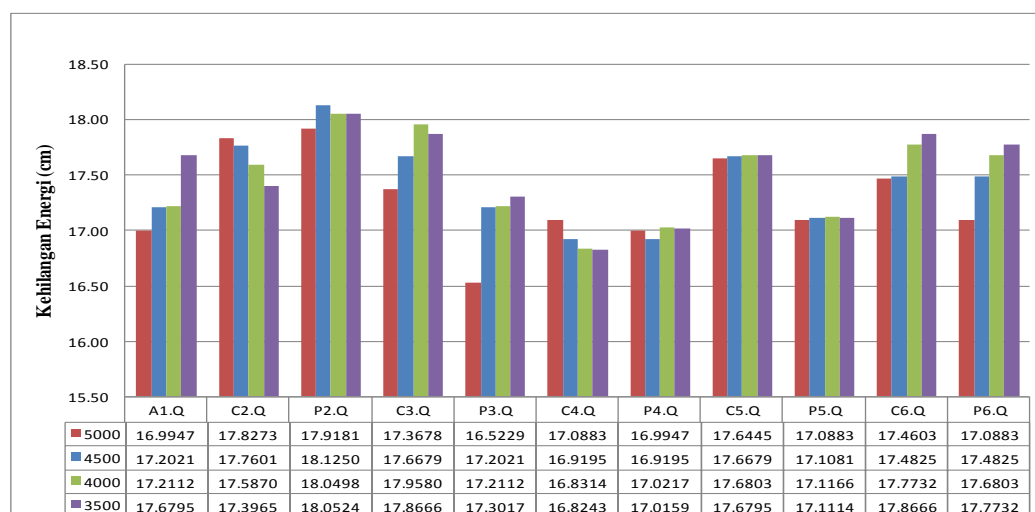
2. Analisis bilangan Reynolds dengan variasi debit



Gambar 20. Hubungan Variasi Debit (cm³/dt) dengan Bilangan Reynolds

Dari gambar 20, terlihat semakin bertambahnya debit aliran, bilangan Reynolds di hilir pusaran semakin besar, hal ini berbanding lurus (hubungan variasi debit dengan kecepatan di hilir pusaran) dengan *baffle blocks* yang dipasang pada tengah radius lengkung seri C4.Q (*baffle blocks* tipe cekung setengah lingkaran) adalah susunan paling efektif.

3. Analisis kehilangan energi dengan variasi debit



Gambar 21. Hubungan Variasi Debit (cm³/dt) dengan Kehilangan Energi (cm)

Gambar di atas, menunjukkan bahwa posisi *baffle blocks* yang paling efektif untuk meredam energi aliran adalah posisi *baffle blocks* di P2.Q (yaitu posisi awal lengkungan kolam olak dengan bentuk *baffle blocks* adalah lengkung parabolik), yang berlaku untuk semua nilai debit.

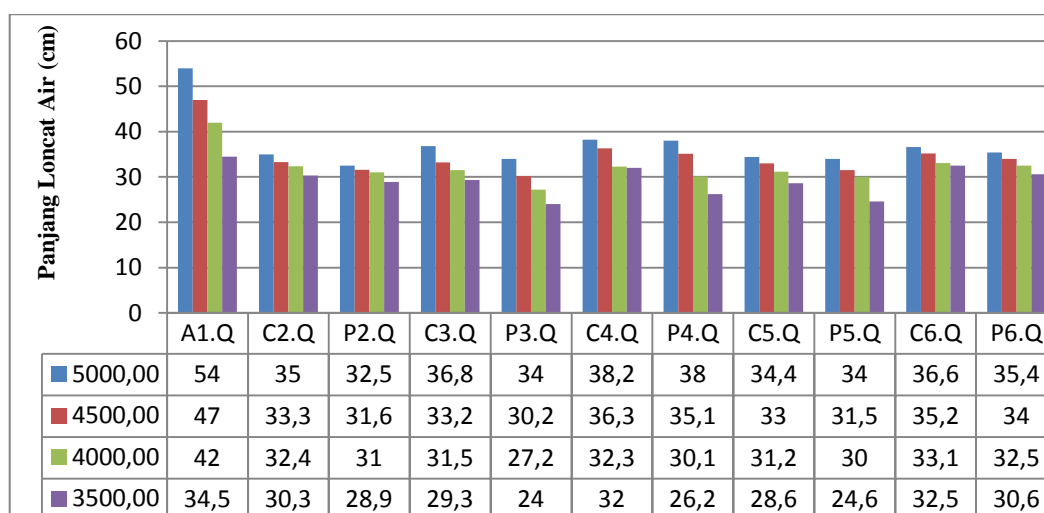
Bentuk dan posisi dari *baffle blocks* yang paling efektif untuk meredam energi berbeda dengan hipotesa awal, disebabkan sebagai berikut ini :

1. Pada posisi di tengah lengkung kolam olak adalah posisi dengan kecepatan air yang melintasi bendung paling cepat, jika dihitung dengan konservasi momentum, dan belum terbentuk sparasi aliran di atasnya. Pada kenyataan di laboratorium, pengaliran pada lembah kolam olak ternyata

timbul sparasi aliran, sehingga adanya sparasi aliran ini semakin menghambat kecepatan arus. Akibatnya adalah kecepatan arus yang menumbuk *baffle blocks* lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan arus hasil analisis kecepatan aliran dengan metode konservasi momentum yang belum terbentuk sparasi aliran.

2. Pada pemasangan *baffle blocks* tipe lengkung setengah lingkaran tidak sempurna, sehingga arus balik yang menumbuk *baffle blocks* tidak benar-benar 180° dari arus mula-mula.
3. Pada posisi awal lengkungan kolam olak terbentuk sparasi aliran di tempat ini, akan tetapi tekanan air di atas arus aliran relatif kecil ($\approx 1/3$ kali tekanan air akibat sparasi aliran di dasar lembah kolam olak), sehingga kecepatan aliran hampir sama dengan kecepatan aliran hasil analisis konservasi momentum.

4. Analisis panjang loncat air dengan variasi debit



Gambar 22. Hubungan Variasi Debit (cm^3/dt) dengan Panjang Loncat Air (cm)

Panjang loncat air (L_j) diukur dari pusat jari-jari bendung (R) ke titik terjauh dari olakan. Hubungan antara debit dengan panjang loncat air dapat dilihat pada (Gambar 22), menunjukkan bahwa semakin bertambahnya debit aliran, panjang loncat air semakin besar. Gambar tersebut juga menunjukkan susunan *baffle blocks* yang paling efektif untuk mereduksi panjang loncat air. Posisi *baffle blocks* yang terbaik untuk mereduksi panjang loncat air adalah susunan *baffle blocks* yang terletak antara awal dan tengah lengkung kolam olak, dengan bentuk *baffle blocks* lengkung parabolik (seri P3.Q).

Jika disintesakan unjuk kerja dari bentuk dan posisi *baffle blocks* yang paling efektif untuk meredam energi aliran dan mereduksi panjang loncat air adalah dengan mensintesakan unjuk kerja *baffle blocks* meredam energi, serta unjuk kerja mereduksi panjang loncat air. Kenyataan di lapangan kedua unjuk kerja tersebut berjalan beriringan, sehingga fungsi tujuan dari meredam energi aliran dan mereduksi panjang loncat air adalah dengan mengalikan unjuk kerja masing-masing dengan menghitungnya dari prosentase pengaliran tanpa *baffle blocks*. Hasil analisis unjuk kerja sebagai berikut ini.

Unjuk kerja *baffle blocks* dengan meredam energi aliran dan mereduksi panjang loncat air disajikan sebagai berikut ini.

Tabel 2. Koreksi Unjuk Kerja Loncat Air dengan Kehilangan Energi

No	Posisi <i>baffle blocks</i>	hf terhadap E_1 (%)	Lj terhadap Lj tanpa <i>baffle blocks</i> (%)	Chek
1	A1.Q	70,55%	0,00%	0,00%
2	C2.Q	72,15%	24,84%	17,92%
3	P2.Q	73,77%	28,75%	21,21%
4	C3.Q	72,46%	25,32%	18,35%
5	P3.Q	69,79%	34,61%	24,16%
6	C4.Q	69,18%	20,59%	14,24%
7	P4.Q	69,48%	26,84%	18,64%
8	C5.Q	72,26%	27,22%	19,67%
9	P5.Q	69,96%	31,82%	22,26%
10	C6.Q	72,18%	21,08%	15,21%
11	P6.Q	71,61%	24,01%	17,19%

Dari tabel di atas, maka unjuk kerja dari *baffle blocks* yang paling efektif dari meredam energi aliran dan mereduksi panjang loncat air adalah posisi P3.Q (dengan unjuk kerja 24.16%), yaitu pemasangan *baffle blocks* pada pertengahan kolam olak, disusul P5.Q (pemasangan *baffle blocks* di pertengahan dari tengah lengkung dan akhir lengkung kolam olak) dan P2.Q (awal lengkung kolam olak). Urutan unjuk kerja yang ke 2 dan ke 3 ini kemungkinan juga disebabkan kecepatan aliran yang menumbuk *baffle blocks* relatif besar (karena tekanan dari sparasi aliran tidak sebesar di pertengahan kolam olak).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian serta hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Susunan *baffle blocks* yang paling baik untuk meredam energi aliran adalah *baffle blocks* tipe cekung parabolik dengan posisi pada awal radius lengkung kolam olak, berlaku untuk semua nilai debit (seri P2.Q). Disusul berturut-turut C3.Q, C5.Q, C6.Q, C2.Q, P6.Q, A1.Q, P5.Q, P3.Q, P4.Q, dan C4.Q.
2. Posisi *baffle blocks* yang paling efektif untuk mereduksi panjang loncat air adalah *baffle blocks* tipe cekung parabolik dengan posisi di antara awal dan tengah lengkung kolam olak, berlaku untuk semua nilai debit (seri P3.Q). Disusul berturut-turut P5.Q, P2.Q, C5.Q, P4.Q, C3.Q, C2.Q, P6.Q, C6.Q, C4.Q, dan A1.Q.
3. Unjuk kerja dari bentuk dan posisi *baffle blocks* yang paling efektif untuk meredam energi aliran dan mereduksi panjang loncat air adalah *baffle blocks* tipe cekung parabolik dengan posisi di antara awal dan

tengah lengkung kolam olak, berlaku untuk semua nilai debit (seri P3.Q). Disusul berturut-turut P5.Q, P2.Q, C5.Q, P4.Q, C3.Q, C2.Q, P6.Q, C6.Q, C4.Q, dan A1.Q.

Saran

Saran yang bisa diberikan dengan hasil penelitian ini adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya lebih ditekankan pada konservasi momentumnya.
2. Untuk penelitian lebih lanjut dapat juga dilakukan dengan variasi bentuk *baffle blocks* dan kemiringan tubuh hilir bendung yang lebih beragam serta menggunakan variasi ketinggian bendung.
3. Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan penelitian mengenai gerusan di hilir pusran.
4. Diperlukan peningkatan kapasitas debit pompa, agar variasi debit yang digunakan lebih beragam dan jarak interval debit bisa lebih besar.
5. Untuk penelitian lebih lanjut bisa dianalisis mengenai *baffle blocks* tipe cekung ini untuk dipasang di posisi kemiringan pada pelimpah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackers, P. 1980. *Weirs and Flumes for Flow Measurement*. London: The Pitman Press.
- Agnes. 1999. "Pengaruh Tata letak Baffle Block Pada Kolam Olakan USBR tipe IV Lantai Miring." Skripsi (Tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Sebelas Maret (UNS).
- Anggrahaini. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya: CV Citra Media.
- Anonim. 2001. Pedoman Penyusunan "Laporan Tugas Akhir". Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Anonim. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi*. Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Anonim. 2014. *Module 4 Hydraulic Structures for Flow Diversion and Storage*. <http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Water%20Resource%20Engg/pdf/m4l08.pdf>, IITM, Kharagpur, Diakses 25 Oktober 2014.
- Ardian, P.W. 2014. "Pengaruh Variasi Kemiringan Tubuh Hilir Spilway dan Penempatan Baffle Blocks Pada Kolam Olak Tipe Trajectory Bucket Terhadap Loncatan Hidrolis dan Peredaman Energi." Skripsi (tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Atmaja, I.T. 2003. "Efektifitas Ukuran Blok halang pada kolam olakan USBR IV." Skripsi (Tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Sebelas Maret (UNS).
- Chow, V.T. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Honing, R. 2009. "Pelimpah Bertangga Sebagai Peredam Pada Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket." Skripsi (tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Irawan, J. 2011. "Pengaruh Variasi Kemiringan pada Tubuh Hulu Bendung dan Penggunaan Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket terhadap Loncat Air dan Gerusan Setempat." Skripsi (tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Mays, L.W. 1999. *Hydraulic Design Handbook*. New York USA: McGraw-Hill.
- Pembra, J.A. 2013. "Pengaruh Variasi Kemiringan Tubuh Hilir Bendung dan Penempatan Baffle Blocks pada Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket Terhadap Loncatan Hidrolis dan Peredaman Energi." Skripsi (tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Peterka, A.J. 1974. *Hydraulics Design Of Stilling Basin And Energy Disipaters*. Colorado: United States Department Of Interior, Bureau Of Reclamation, Denver.
- Sasongko. 2010. "Unjuk Kerja Baffle Blocks Bentuk Cekung dan Segitiga Untuk Memperbesar Kehilangan Energi Kinetik Serta Meredam Panjang Loncatan Air Pada Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket." Skripsi (tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sosrodarsono, S. 1989. *Bendung Type Urugan*. Dirjen Pengairan Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Jakarta: PT Pradya Paramita.
- Tauvan, A.P. 2009. "Kajian Peredam Energi Pada Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket Dengan Baffle Blocks Bentuk Kotak." Skripsi (tidak diterbitkan). Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Triatmodjo, B. 1995. *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset.